

# milagro y física moderna

• RICARDO COCITO S. J.

Del Observatorio de Física Cósmica - San Miguel - Bs. As.

**N**os colocaremos de partida en el punto de vista de la física nueva, o física cuántica, también llamada microscópica, por oposición a la física clásica o macroscópica.

Al considerar la palabra "átomo" acostumbra el profano a representarse una especie de pequeño sistema solar: en el centro el núcleo —protones y neutrones—, alrededor giran los electrones en modo semejante a los planetas alrededor del sol. El todo tan pequeño, tan diminuto, que ni siquiera alcanza su diámetro a la millonésima del milímetro. Y las partículas elementales (electrones, protones, neutrones) diminutas esferillas más pequeñas aún. Tal el modelo del átomo, que todavía hoy se representa con el fin de hacerlo asequible al hombre no versado en física. Y los mismos físicos pensaban hasta hace unos cincuenta años que no solamente se trataba de un modelo sino que en realidad el átomo era el tal pequeño sistema solar que las partículas elementales eran realmente diminutas esferillas, y que los movimientos de tales esferillas, sus recíprocas atracciones y repulsiones, esta-

ban regidos por las mismas leyes que determinan el rodar y los choques de una bola de billar. Un buen jugador de billar puede con toda exactitud calcular de antemano como van a rodar las bolas, con qué dirección saldrán después del choque. Las leyes físicas que rigen esos movimientos son las de la mecánica, descubiertas por el genial Newton en el siglo 17, y que constituyen el fundamento de toda la física. Las leyes de la mecánica permiten, pues, precalcular, predecir completamente el curso de las bolas de billar cuando la situación de cada una de ellas sobre la mesa y todo otro influjo sea conocido, p. e., velocidad y dirección, densidad del aire, roce con la superficie de la mesa, etc.

Exactamente en la misma forma se pensó la relación entre las partículas del átomo: también estas partículas elementales debían ser dominadas por las leyes de la mecánica de Newton, se debían comportar como diminutas bolas de billar. Cuando dos bolas de billar chocan no se pueden permitir el lujo de pensar si toman por la derecha más bien que por

la izquierda; de ningún modo, ellas deben seguir el curso prescrito por las leyes de la mecánica. Lo mismo debía suceder en el átomo. Este convencimiento de la absoluta necesidad y predeterminación del suceder de la naturaleza ha sido expresado por el físico francés Laplace, contemporáneo de Napoleón, en su obra "Ensayo filosófico sobre la probabilidad", cap. II, del siguiente modo: "Si el hombre estuviera en la situación de poder determinar el estado momentáneo del universo en todos sus detalles y con toda exactitud, si el mismo hombre conociera todas las leyes de la naturaleza que rigen el universo, y si a la vez supiera resolver todas las ecuaciones matemáticas que se le presentan, entonces —escribe Laplace— se encontraría este hombre en la posibilidad de calcular y predecir cualquier estado ulterior del universo con toda evidencia y exactitud".

Bajo esta concepción ¿es el acto libre posible?

Esto es, supuesto que se diera tal superhombre como Laplace lo describió, ¿podría éste predecir también las decisiones libres de los hombres?

Se ve de inmediato a qué consecuencias conduce esto. Sea un hombre que ultimó a otro para apoderarse de su dinero. La justicia lo condena a prisión perpetua porque no le era lícito haber cometido tal crimen. El superhombre laplaciano habría podido con toda certeza predecir todo lo que debía ocurrir —el asesino ninguna otra cosa podría haber hecho, pues la ley física con inexorable necesidad predeterminó cómo debía moverse la mano del asesino en el momento decisivo! Si el asesino ninguna otra cosa pudo hacer ¿con qué derecho puede la justicia enviarlo a la cárcel? ¿Para casti-

garlo por un hecho del cual fundamentalmente el asesino ninguna responsabilidad tiene?

Hemos desembocado en una cuestión, que sobrepasando el dominio de la física es de decisiva importancia en nuestra cosmovisión: la cuestión acerca de la libertad y de la responsabilidad humana. El alcance de la física no llega a tanto, la física no puede dar una respuesta completa y exhaustiva a esta cuestión. Queda claro que Laplace sobrepasó los límites de la física clásica. En nombre de la física no tenía ningún derecho a afirmar semejante enunciado.

#### LIMITES DE LAS PREDICCIONES FISICAS

Lo más interesante del caso se halla en que ni siquiera dentro del dominio de la física —afirman la mayor parte de los físicos actuales— el superhombre de Laplace podría suministrar de antemano un cálculo absolutamente cierto y unívoco. ¿Por qué no? Brevemente dicho, porque las partículas elementales de ningún modo son las pequeñas esferillas de billar que imaginó el físico de hace cincuenta años, y en consecuencia ya no son regidas sin más ni más por las leyes de la mecánica. Qué cosa sean en realidad las partículas elementales, qué propiedades tengan, esto sobrepasa ya el poder de nuestra representación, de las mismas no podemos formarnos un concepto exacto. Y por esta razón, porque no podemos ya exactamente describir que cosa sean en realidad las partículas elementales, no podemos calcular de antemano unívocamente cómo se comportarán bajo tales o cuales circunstancias.

## DOBLE NATURALEZA DE LAS PARTICULAS ELEMENTALES

Esta insuficiencia de nuestro conocimiento de las partículas elementales cobra toda su expresión en lo que comunmente afirman los físicos como "doble naturaleza" de las partículas elementales. Se sintetiza con esta expresión lo siguiente: una misma entidad física —sea la luz o el electrón— aparece ya bajo el aspecto ondulatorio, ya bajo el aspecto de corpúsculo, según sea la experiencia llevada a cabo.

Ahora bien, en la descripción de una experiencia el uso simultáneo de estos dos conceptos —onda y corpúsculo— conduce a contradicciones. Desde el punto de vista lógico, los dos conceptos aplicados simultáneamente a la misma entidad física nos lleva a inevitables antinomias. Sin embargo el uso alternado de ambos conceptos es indispensable desde el punto de vista experimental.

En consecuencia no resta sino afirmar que la luz o un electrón o un neutrón, en realidad no es ni una partícula ni una onda, sino que tiene propiedades que simplemente sobrepasan nuestro poder de representación y para las cuales por tanto nos faltan los conceptos exactamente correspondientes, y porque nos faltan los conceptos correspondientes nos debemos ayudar ora con la figura de una partícula, ora con la figura de una onda, para describir en cierto modo adecuadamente el comportamiento observado de una determinada entidad física, sea la luz o el electrón.

Se dice, empero, que el dilema ha sido superado en el año 1925, mediante la creación de la nueva mecánica cuántica. Es verdad, pero ¡a costa de qué precio!

Debemos hacer importantes renunciaciones en la aplicabilidad de ambos conceptos. La onda deja de representar la traslación de una perturbación, de una cantidad de energía. Ella no "transporta" —para usar todavía el mismo verbo— a cada lugar más que la probabilidad de encontrar en un pequeño volumen unitario al corpúsculo al cual la onda está asociada. La conexión entre onda y corpúsculo resulta, pues, estadística. El corpúsculo no viaja ya sobre una trayectoria, la noción misma de trayectoria ha debido desaparecer pues no se experimenta la conexión causal, rígida, no se da ya una ley matemática que rijan la evolución detallada del corpúsculo. Este no tiene ya historia, su movimiento no puede ser más seguido o descrito, porque la noción misma de trayectoria ha desaparecido. Vemos, pues, que el corpúsculo ha salido tan disminuido de la conciliación como la misma onda. Le resta tan sólo al corpúsculo el traducir, el encarnar, en todo momento y en cada lugar escogido, la probabilidad de ver aparecer en ese lugar y en ese tiempo a la entidad física que él representa —electrón o fotón—. Por tanto el carácter puntual del corpúsculo es todo lo que subsiste del carácter primitivo del concepto clásico del punto material. Así la noción de velocidad ha desaparecido.

Del concepto clásico de onda ha sido retenido un carácter esencial para la mecánica cuántica: el principio de superposición o de interferencia exigido por la experiencia, tanto por la "materia" como por la "radiación". En cambio contiene algo nuevo. Si la onda es plana, para simplificar, traduce las propiedades que se pueden llamar "dinámicas" del movimiento —energía, cantidad de mo-

vimiento. La relación ha sido descubierta por L. de Broglie, y es el fundamento de la mecánica nueva: la cantidad de movimiento del corpúsculo por su longitud de onda es siempre igual a la constante universal de Planck, denominada  $h$ .

En resumen, los antiguos conceptos clásicos de onda y de corpúsculo se muestran demasiado ricos, demasiado complejos para poder ser utilizados concurrentemente en la física microscópica o cuántica. Ellos deben ser empobrecidos, amputados de una parte de sus connotaciones macroscópicas ordinarias. Consiguientemente ellos pierden también una parte de su carácter intuitivo que tomaban de los objetos de nuestra experiencia habitual. Así, pues, su introducción forzada en nuestra manera de razonar y de describir choca con las hábitos intelectuales esencialmente fundados sobre la física de los objetos usuales.

Como vemos estamos lejos de tener un concepto claro de las realidades últimas, que llamamos partículas elementales. Parece bien cierto que las hay de diversa naturaleza, que interactúan entre ellas, y aunque su permanencia no es absoluta, con todo su duración es suficiente para dar un eslabón, un soporte a nuestro pensamiento y a nuestro razonamiento.

Esta espinosa y perpleja situación del físico, respecto de su conocimiento de la realidad misma, de *ese algo último* — esas partículas elementales — que constituyen los sillares del universo extenso, ha llevado a los físicos actuales — en su mayor parte al menos — a no pretender ya como objeto de su ciencia la realidad en sí misma, independiente de nuestro conocimiento. Algunos, empero, como Pohl, conocido físico experimental, uno

de los semidioses digamos de Gotinga, hasta hace poco tiempo Olimpo de la física en Alemania, a continuación de su reconocimiento de que la física actual ya no busca la realidad en sí misma, añade — en su libro "Optica y física cuántica" — que la investigación de la realidad es objeto de otra ciencia más rica en palabras.

Esta última afirmación no ha dejado de llamarme la atención. Se refiere el citado físico obviamente a la filosofía. Ahora bien, esa afirmación de que la filosofía es una ciencia más rica en palabras no es justificable dentro del dominio de la física; ninguna experiencia la confirma. Entonces así como antes el célebre Laplace transgredió los límites de la física, así ahora lo hace ese notable físico. El alcance de la física se limita hoy día, más que nunca, *al fenómeno experimental controlable medible*.

#### PRINCIPIO DE INDETERMINACION DE HEISENBERG

Por medio de un compendio genial Heisenberg, en 1927, ha puesto en evidencia bajo una forma particularmente impresionante la restricción fundamental que limita nuestro conocimiento del mundo microscópico.

Imagina Heisenberg una *experiencia física ideal*, desprovista de todas las causas habituales de error, tal que permita afirmar que la posición de una partícula se encuentra en el interior de un pequeño cubo de lado  $dq$ , sin que se pueda precisar en qué punto del cubo se encuentra. Diremos, pues, que la posición del corpúsculo está medida con unan imprecisión  $dq$ , que la medida *está afecta-*



da de una determinación. Pues bien, Heisenberg ha demostrado que en esa experiencia *concomitante e ineluctablemente debe aparecer otra indeterminación en la medida de la cantidad de movimiento*, sea  $dp$ , y que además las dos indeterminaciones están relacionadas por la expresión fundamental  $dp.dq=h$  (el signo igual significa aquí orden de magnitud). *La razón física de este resultado yace en el carácter mixto ondulatorio y corpuscular de la radiación*, cuya longitud de onda cuanto más pequeña ha permitido una determinación tanto más aproximada de la posición de la partícula. Pero al mismo tiempo la radiación incidente utilizada para efectuar la medida choca contra la partícula y *le cede una cierta cantidad de movimiento, cuya dirección es totalmente imprevisible* a causa de la ley estadística que rige la interacción (efecto Compton), y *cuya magnitud es también indeterminada* y queda tan sólo limitada por la relación de Heisenberg.

Se ha de señalar a Bohr como el que ha iluminado este aspecto restrictivo que él llama con propiedad "complementario" de nuestro conocimiento en la escala microscópica, y que tiene su raíz en la dualidad de las propiedades físicas traducidas por los conceptos cuánticos de onda y de corpúsculo. La antinomia ha desaparecido por medio de la conciliación estadística, *una utilización simultánea de ambos conceptos se ha hecho posible*, pero *al precio de una determinación esencial*, aunque limitada en magnitud, sobre la medida y de consiguiente sobre el conocimiento físico. Se podría imaginar una precisión "absoluta" sobre uno de los términos, sea  $p$ , bajo la condición de aceptar una imprecisión "total" sobre el otro, o sea la posición  $q$ .

No debemos perder de vista con todo que se trata de una imprecisión total en la escala atómica del orden de la diez milésima del micrón, de tal modo que es posible conciliar la imprecisión total microscópica con una precisión todavía casi perfecta en la escala macroscópica del micrón, caso que se presenta en una partícula observada en la cámara de burbujas.

El principio de Heisenberg pone bien de manifiesto *un aspecto de la experiencia y de la medida pertinente a los fenómenos cuánticos elementales*: el instrumento de medida *reacciona* sobre el objeto a medir —sea una partícula— y esta *reacción* es, dentro de los límites fijados por el p. de indeterminación, *incontrolable e imprevisible*. La indeterminación resulta, pues, esencial, pero los efectos de esta imprecisión del conocimiento quedan restringidos por el mismo principio a la escala elemental siendo despreciables en la escala de los fenómenos sensibles.

\* \* \*

Si en lugar de un sola partícula elemental son muchas las que intervienen en un mismo fenómeno cuántico, entonces surge una nueva particularidad: se constata que *las partículas de la misma naturaleza no pueden ser identificadas*. En efecto, supongamos que se haya observado una de ellas, luego en la observación siguiente no será posible reconocerla. Esta imposibilidad fundamental resulta de dos hechos: *la identidad absoluta de las propiedades físicas de las partículas elementales de la misma naturaleza*, lo que impide "marcarlas" y la *desaparición de la noción misma de trayectoria*, lo que impide "seguir" una partí-

cula distinguida de antemano. Esta nueva limitación tiene una repercusión importante en la física cuántica, su estudio queda englobado bajo el término "estadística cuántica", que introduce una nueva acepción del concepto de estadística.

### LOS MILAGROS: ¿SON POSIBLES?

En relación con el cambio operado en la física atómica y en la concepción de la ley natural se plantea también la cuestión de la *posibilidad del milagro*.

De acuerdo a lo dicho resultaba el milagro imposible según la concepción anterior de la física. El suceder de la naturaleza quedaba en cada caso particular perfectamente predeterminado con absoluta rigidez, una desviación de la ley natural, un milagro, ni se podía pensar. Según la moderna concepción, en cambio, parecen los milagros perfectamente posibles. Según esta concepción, en efecto, las leyes naturales permiten tan sólo afirmaciones estadísticas, sólo probabilidad acerca del acontecimiento futuro. Ahora bien, según la esencia de la ley estadística es posible que alguna vez en un caso particular suceda algo enteramente distinto, algo excepcional respecto de lo que ordinariamente sucede.

### ¿QUE ENTENDEMOS POR LEY DE LA NATURALEZA?

Este argumento parece demasiado sencillo para convencernos; tratemos de ver lo que fundamenta el razonamiento anterior. La intervención de Dios queda supeditada a la ley natural. En la física clásica la ley natural aparecía como rígida, entonces no restaba lugar para la intervención de Dios. En la física

moderna la ley natural permite excepciones, entonces Dios puede entrar a hacer un milagro. Pero precisamente esta concepción que somete Dios a la ley natural es inadmisibile (es contradictoria en si misma) y tampoco ha sido jamás científicamente probada, pertenece tan sola a aquellos prejuicios filosóficos, que ya mucho antes de la era científica eran conocidos. Si la naturaleza, y con ella sus leyes han sido creadas por Dios, entonces retiene Dios siempre el poder de intervenir según sus fines en el desarrollarse de la naturaleza, y no está atado a ninguna ley de la misma.

### EL MILAGRO, ¿ES RECONOCIBLE?

Por este lado, pues, hemos de decir que *respecto a la cuestión de la posibilidad del milagro nada ha cambiado* con el cambio operado en la figura física del universo. Lo que si parece haber cambiado es la cuestión relativa a la reconocibilidad del milagro, cuestión tan esencial como la misma posibilidad. Pues Dios obra sus milagros en vista a algún fin particular, frente al suceder de un milagro reconoce el hombre que se encuentra delante de Dios, y así debe escuchar el mensaje de Dios, para cuya confirmación y a manera de rúbrica ha obrado Dios el milagro.

Y por este lado, precisamente, parece *la moderna concepción estadística de la ley natural oponer dificultad*. Pues, podría uno decir, si todas las leyes tienen tan sólo carácter estadístico no se puede afirmar un hecho más que con probabilidad, esto es, de ningún modo podemos reconocer con certeza la intervención de un poder superior. Pongamos un ejemplo:

Por ley de la naturaleza el cuerpo humano flota, es sostenido por el agua cuando está *casi completamente* sumergido. Si, pues, históricamente y fuera de discusión sabemos que Cristo ha caminado sobre las aguas podemos inferir que un poder superior ha intervenido. Empero se levanta la objeción: la ley de la naturaleza aplicada tiene carácter estadístico. Esto significa que lo contrario, mirada la cosa tan sólo desde el punto de vista físico, no es absolutamente imposible, sino extremadamente improbable. De todos modos muy improbable; si uno quisiera expresar esta probabilidad en forma de una fracción como de costumbre, habríamos de escribir 1:1000,000... alrededor de toda la tierra y todavía no hubiéramos terminado de poner ceros. Pero en principio sería posible por modo extraordinariamente extraordinario que las moléculas en el agua de tal modo se ordenaran que ofrecieran resistencia al andar de un hombre.

### RECONOCER "CON SEGURIDAD"

Según esto ¿es verdad que a pesar de presentarse una excepción de las leyes de la naturaleza no podamos inferir con toda certeza la intervención de un poder superior? Nos hemos de proponer esta cuestión: ¿qué significa esta expresión "con seguridad, con certeza"? Pongamos otro ejemplo: del hecho de que yo delante de mí *veo* un libro infiero que *realmente está* dicho libro delante de mí, y esto con seguridad, con certeza. ¿Qué significa en este caso "con certeza, con seguridad"? No puede significar que lo contrario es absolutamente imposible, pues siempre queda la posibilidad abierta de que yo en ese instante *fuera víctima*

*de una ilusión o de una alucinación*. La absoluta posibilidad de un error no desaparece; pero siempre que la probabilidad matemática de un error es infinitamente despreciable, esto es, ningún peligro de error amenaza, puedo decir a pesar de todo que a partir de mi visión del libro infiero la real existencia del mismo delante de mí, pues el estado de seguridad de la mente consiste en eso justamente, que ningún peligro de error amenaza.

Ahora bien: todo es enteramente semejante cuando a partir del caminar de Cristo sobre las aguas infiero la intervención de un poder superior: tampoco aquí desaparece la absoluta posibilidad —que en el lenguaje técnico de la física se dice "probabilidad"— de un error, pues como hemos dicho, en principio un tal suceso podría ser reducido a un casualísimo y especialísimo orden de las moléculas del agua; pero la posibilidad matemática de un error es también aquí infinitamente pequeña; no surge pues ningún peligro de error, y por tanto puedo decir con todo derecho que yo con seguridad y toda certeza infiero la intervención de un poder superior.

Ciertamente no se trata aquí de una certeza o seguridad absoluta, sino de algo que uno suele designar "seguridad práctica", pero la facultad de conocimiento del hombre es tal que aún de aquellos hechos y cosas más importantes para su vida, tan sólo esta certeza práctica puede alcanzar. Pensemos en las percepciones de nuestros sentidos y en nuestra memoria, jamás superamos esa seguridad práctica; el engaño de los mismos jamás podrá quedar absolutamente excluido.

Cuando los esposos después de larga separación se vuelven a encontrar ¿qué

seguridad tiene el hombre que frente a él se encuentra su mujer y viceversa? Absoluta seguridad de ningún modo; pues la absoluta posibilidad de un error aún bajo las condiciones más favorables jamás puede ser excluida. Tan sólo se han de contentar con una "seguridad práctica". Sin embargo, el hombre no dudará ni por un instante que realmente es su mujer quien está frente a él, porque ningún motivo sólido se presenta para presumir razonablemente un error.

Si, pues, el hombre en las cuestiones más importantes de su vida ha de con-

tentarse con esta seguridad práctica y de hecho se queda muy feliz con ella, entonces cuando Dios se le manifiesta con un milagro no le es lícito andar con exigencias de un grado mayor de seguridad. De todos modos, como la probabilidad de que el agua se manifieste resistente al paso de un hombre es muy muy inferior a la que podrían tener los hechos que en la vida práctica gozan de una mera posibilidad, resulta que la certeza de que goza el milagro es mucho mucho mayor que las demás certezas con que vamos haciendo nuestra vida. ♦

---

## "ESTUDIOS", revista argentina de Cultura, Información y Documentación

Fundada en 1911. — Dirección y Administración: Callao 542, Buenos Aires, T. E. 40-7997

Registro de la Propiedad Intelectual N° 727.814

Puede suscribirse a la revista  
"ESTUDIOS"

enviando cheque, giro postal o bancario, a la orden de:  
*Revista "Estudios"*

### tarifa de suscripciones

Suscripción anual (10 ediciones) .....	m\$n. 350
Suscripción semestral (5 ediciones) .....	" 175
Suscripción especial de ayuda .....	" 700
Ejemplar del mes en curso .....	" 40
Número Extraordinario (Diciembre 1961) .....	" 80
Ejemplar atrasado del año .....	" 45
Ejemplar atrasado de años anteriores .....	a convenir
Exterior: suscripción anual .....	u\$s. 5.00